

# 无线传感器网络数据融合模型研究<sup>\*</sup>

叶 宁<sup>1,2</sup> 王汝传<sup>1,3</sup>

(南京邮电大学计算机与科学系 南京 210003)<sup>1</sup> (南京人口管理干部学院信息科学系 南京 210042)<sup>2</sup>  
(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)<sup>3</sup>

**摘 要** 无线传感器网络是一种全新的技术,能够广泛应用于恶劣环境和军事领域中。传感器网络在数据收集集中,为减少冗余数据的传输耗能,降低延迟,需要采用数据融合技术。分析和介绍了传感器网络跟踪级与属性级两种融合模型结构,提出了一种基于多 Agent 的数据融合模型。

**关键词** 无线传感器网络,数据融合模型,多 Agent

## Study of Data-Fusion Model for Wireless Sensor Network

YE Ning<sup>1,2</sup> WANG Ru-Chuan<sup>1,3</sup>

(Department of Computer Science and Technology, NJUPT, Nanjing 210003)

(Dept. of Information Science, Nanjing College for Population Programme Management, Nanjing 210042)

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract** Wireless sensor network is a novel technology, and can be applied to both abominable and military environments. During gathering the data, wireless sensor network should decrease the power costs of redundancy information and delay time. The technology of data fusion can be adopted. The track-level data fusion model and attribution-level data fusion model are introduced. A data fusion model based on multi-agent is presented.

**Keywords** Wireless sensor network, Data-fusion model, Multi-agent

## 1 引言

随着低功耗无线通信、微机电系统(MEMS)、嵌入式计算技术的飞速发展,由大量具有感知、计算存储和通信能力的微型传感器,通过无线通信方式形成的无线传感器网络(WSN)应运而生。无线传感器网络具有自组织性、自适应性与容错性高等特点,在军事、工农业、生物医疗、环境监测等许多重要领域具有十分广泛的应用前景<sup>[1]</sup>。

无线传感器网络包括大量传感器节点(sensor node)和少数汇聚节点(sink node)。位于监测区域的传感器节点负责采集相关数据信息,最终将数据传送至汇聚节点,如图1所示。

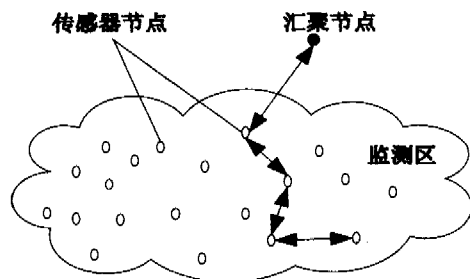


图1 传感器网络

无线传感器网络感兴趣的是具有特定属性的感知数据,信息的传送是以数据为中心的<sup>[2]</sup>。由于传感器节点数量大且

随机分布,相邻的传感器对同一事件进行监测所获得的数据具有相似性,而传感器节点在能量、存储空间与计算能力上有限<sup>[3]</sup>,因此冗余数据的传送在一定程度上将消耗过多的能量,缩短整个网络的生存期。

为避免上述问题,传感器网络在收集数据过程中需要使用数据融合技术,即将来自多传感器节点的数据进行综合处理,得出更为准确完整的信息。数据融合技术研究起源于美国军事 C<sup>3</sup>I (Command, Control, Communication) 系统建设需求,通过对各传感器信息获取、综合、滤波估计、融合,实现自动化指挥<sup>[4]</sup>。无线传感器的融合技术与传统多传感器不同体现在以下几个方面:

(1)稳定性。传统多传感器融合系统是通过扩展空间覆盖范围与提高抗干扰能力,增强运行的鲁棒性。无线传感器网络则从提高数据收集效率出发,数据融合多基于网内(局部范围)进行<sup>[5]</sup>。考虑到部分节点由于恶劣环境因素或自身能量耗尽造成失效情形,稳健性和自适应性是传感器网络数据融合实现的前提需求。

(2)数据关联(Data Association)。传统多传感器的数据融合着重解决多目标的数据关联问题。而无线传感器网络由于大量节点之间的通信可能引起的干扰,且传感器测量存在的不精确性,因此更多的在于解决数据的相关二义性问题。

(3)能量约束。无线传感器中节点能量有限,且节点发送与接受数据的耗能要远大于计算与存储能耗<sup>[6]</sup>,因此网络数

<sup>\*</sup> 本课题得到国家自然科学基金(60173037 和 70271050)、江苏省自然科学基金(BK2005146)、江苏省自然科学基金预研项目(BK2004218)、江苏省高技术研究计划(BG2004004、BG2005038)、江苏省计算机信息处理技术重点实验室基金(kjs050001)资助。叶 宁 讲师,博士研究生,主要研究方向为计算机软件在通信中的应用,无线传感器网络。王汝传 教授,博士生导师,主要研究方向是计算机软件、计算机网络和网格、信息安全、移动代理和虚拟现实技术等。

据的融合应考虑节点的能耗与网络能量的均衡,选择合适的融合处理节点。

目前在无线传感器网络研究领域,许多学者将数据融合技术与协议层次研究相结合。如在应用层设计中,利用分布式数据库技术<sup>[7]</sup>,对采集的数据逐步筛选,达到融合的效果;在网络层研究中,许多路由协议都采用了数据融合的机制<sup>[8~11]</sup>,目的是减少传输数据量。本文在已有的研究基础上,从不同方面总结无线传感器网络数据融合的模式结构,并提出基于多 Agent 机制的融合模型。

## 2 数据融合模型

对于无线传感器网络,通信的能耗带宽、传输的可靠性,数据收集的效率等是主要考虑的因素。依据多传感器数据融合模型定义方法,结合无线传感网络以数据为中心的特点,数据融合模型可分为跟踪级融合结构模型与属性级融合结构模型。

### 2.1 跟踪级融合模型

无线传感器网络中大量的感知的数据从多源节点向汇聚节点传送,从信息流通形式和网络节点处理的层次看,跟踪级融合模型可分为两种,集中式与分布式。

(1)集中式结构 集中式结构的特点是汇聚节点发送有关数据的兴趣或查询,具有相关数据的多个源节点直接将数据发送给汇聚节点,最后由汇聚节点进行数据的融合,如图 2 所示。这种结构优点是信息损失较小。但由于无线传感器网络节点分布较为密集,多源对同一事件的数据表征存在近似的冗余信息,因此对冗余信息的传输将使网络消耗更多的能量。

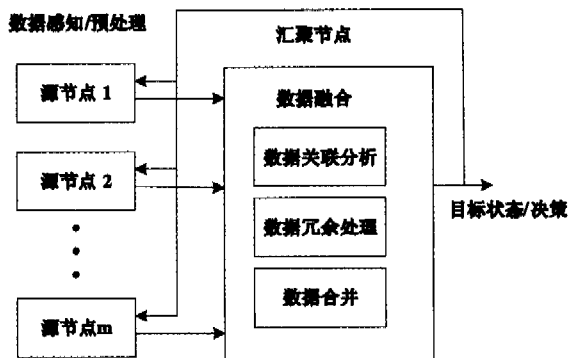


图 2 数据融合的集中式结构

(2)分布式结构 分布式结构中源节点发送的数据经中间节点转发时,中间节点查看数据包的内容,进行相应的数据融合后再传送到汇聚节点,由汇聚节点实现数据的综合。该结构在一定程度上提高了网络数据收集的整体效率,减少了传输的数据量,从而降低能耗,提高信道利用率。

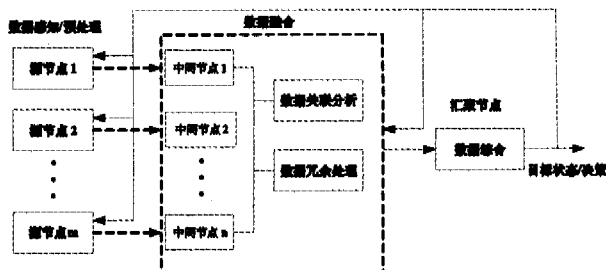


图 3 数据融合的分布式结构

### 2.2 属性级融合模型

属性信息融合是基于目标类型的识别融合。传感器网络中各传感器节点对环境事件监测所获得的数据流,经分析处理提取特征,然后用模式识别方法完成属性信息融合。根据对传感器数据的识别层次,属性数据融合结构可分为三类:决策层、特征层、数据层的属性融合。

(1)数据层属性融合结构 指基于原始的多个传感器采集的数据,直接融合来自同类传感器数据,然后实现特征提取和对来自融合数据的属性判决。多数情况下仅依赖于传感器类型,不依赖于用户需求。由于数据量大,冗余度高,因此融合计算量庞大,属于最底层的融合。

(2)特征层属性融合结构 指对各传感器数据进行处理并抽取特征后再进行融合。其中特征抽取是将传感器的数据表示为能反映事物属性的特征向量。该层关键是抽取一致的、有用的信息,排除无用甚至矛盾的信息,进行融合的数据量、计算量均属中等。

(3)决策层属性融合结构 指在特征层属性融合基础上,对监测对象进行分类判别,从而得出判决信息。通常各传感器单独做出决策后,再将决策信息传送到决策中心(即融合中心)做出最终决策。该层进行融合的数据量、计算量均较小。

## 3 基于多 Agent 的数据融合模型

### 3.1 多 Agent 技术

Agent 是指在一定环境下具有自主性、持续性、社会性和代理性等特征的计算机实体。它有自己的知识库和推理机制,能主动对环境的作用做出反应。多 Agent 系统则是由一组 Agent 通过彼此的协商与协作组成一个整体。在多 Agent 中,单个 Agent 的能力是有限的,但通过合作可以完成很多复杂的任务<sup>[12]</sup>。由于上述特点,对于把多 Agent 用于提高传感器网络数据融合度和实现数据同步及任务协同处理是非常有利的。

### 3.2 基于多 Agent 的数据融合模型

如图 4 所示,在这种结构中,汇聚节点作为融合中心,数据的融合通过传感器 Agent 与融合中心 Agent,由传感器节点与汇聚节点间的协商实现。若将汇聚节点从兴趣扩散到最终获得融合数据的过程视为系统任务分配与执行,则具体的协商策略是:融合中心将系统任务发送给能独立完成该任务的传感器,或能联合完成该任务的传感器组。各传感器根据其自身的需要与相关的传感器进行协商,这一过程持续到融合中心发出下一组任务时为止。

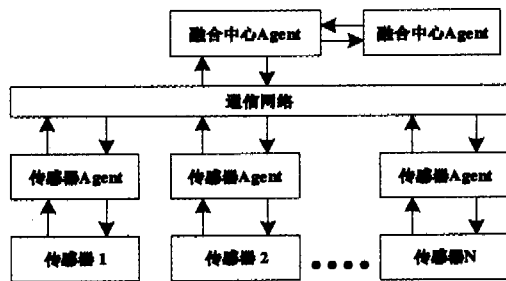


图 4 基于多 Agent 的数据融合模型

传感器 Agent 具有有关融合中心以及与其在监测范围上有重叠的多个传感器的知识。主要功能如下:

- ①获取目标和传感器数据;
- ②对经协商后分配的传感器任务进行管理;

③对与其他传感器节点的数据通讯进行控制;

融合中心 Agent 包含与应用相关的全部传感器的知识,主要功能包括:

①对各传感器发送来的所有相关信息进行数据融合;

②确定各传感器 Agent 需完成的系统任务及其全局性能指标,如能耗、延迟、带宽等;

③对系统任务的性能指标进行监控,以便确认所要求的性能指标是否达到。

### 3.3 Agent 内部结构

传感器 Agent 的结构包括通信层、融合规则层、融合执行层和知识库,如图 5 所示。融合规则层通过与知识库交互学习,对已获知的传感器节点融合执行结果进行分析、推理。执行相关动作后,形成新的 Agent 状态信息,并确定在传感器需完成的下一个融合任务集。同时该层对融合中心或其他代理发送来的信息进行处理,获取环境态势知识,确定各任务所对应的优先级。

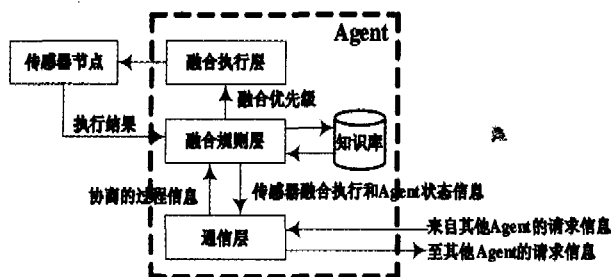


图 5 Agent 内部结构

通信层支持分布式决策中的协商过程,它接收来自其它 Agent 的执行请求、通知或结果信息。协商过程要求能及时了解传感器所完成数据感知与融合的能力。通讯层通过规则层了解 Agent 完成任务的现状,一旦由其它 Agent 建议的融合任务被接受,通讯层就会把经协商确定的传感器级性能指标传到规则层。如果某项任务无法执行,则通讯层将要求的传感器性能指标与规划层中的信息进行比较,确定应该由其它 Agent 执行的一组行为,或者将结果通知给其它 Agent。

### 3.4 Agent 间通信机制

多 Agent 之间的通信消息来自于 Agent 内部的决策过程,包含融合数据相关的标识、类型、内容及发送、接收者。系统融合任务优先级及其性能指标由融合中心 Agent 确定,而传感器融合任务的优先级则由传感器 Agent 确定。传感器融合任务的性能指标经传感器 Agent 间的协商确定。

### 3.5 特点

基于跟踪级的数据融合模型最终决策由汇聚中心(融合中心)传送至各传感器节点,而基于多 Agent 的融合模型将决策过程移至各传感节点。各节点能动地根据目标向来调整策略,提高了数据融合过程的自适应性。各传感节点的感知数据通过 Agent 自主管理,并能及时获得性能态势,动态调整任务的决策,有利于在传感网络性能优化上的数据融合。另外 Agent 之间的协商与知识学习机制,利于数据相关性的发

现,进而提高数据融合度和鲁棒性。

**结论** 无线传感器网络的跟踪级与属性级模型结构是以数据为中心,数据的融合策略决定于信息传输与处理过程。基于多 Agent 的数据融合模型结构则从逻辑分析角度出发,利用 Agent 对环境的感知及决策能力。通过多 Agent 之间的协商合作,减少了数据融合决策过程中对融合中心的依赖。但 Agent 的任务管理所需的存储和计算能耗,对于传感器网络的整体性能带来一定影响。在以后的研究中,将在多 Agent 之间如何为协商处理、融合算法的结构与复杂性、以及融合过程的稳定性与容错性衡量上作进一步深入的研究。

### 参考文献

- 1 Akyildiz I F, Su W, Cayirci E, et al. A Survey on Sensor Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102~114
- 2 Krishnamachari B, Estrin D, Wicker S. Modeling data-centric routing in wireless sensor networks [R]. In: Proc. IEEE INFOCOM, 2002
- 3 Raghunathan V, Schurgers C, Park S, et al. Energy-Aware Wireless Microsensor Networks [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2002
- 4 Waltz E, Llinas J. Multisensor data fusion [M]. Boston: Artech House, 1990. 1~261
- 5 孙利民, 李建中, 等. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- 6 Hill J, Szewczyk R, Woo A, et al. System architecture directions for networked sensors [R]. In Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, 2000. 93~104
- 7 Madden S, Franklin M J, Hellerstein J M, Hong W. The design of an acquisitional query processor for sensor networks [C]. In: proc. 2003 ACM SIGMOD int'l Conf Management of Data, San Diego, CA. 2003. 491~502
- 8 Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks [C]. ACM / IEEE International Conference on Mobile Computing and Net2 works (MobiCom2000), Boston, Massachusetts, August 2000
- 9 Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor network [C]. In: Proc. 33rd Hawaii Int'l Conf on System Sciences (HICSS'00), 2000. 1~10
- 10 Manjeshwar A, Agrawal D P. TEEN: A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks [C]. In: Proc. 15th Int'l Parallel and Distributed Processing Symp (IPDPS'01), San Francisco, CA, April 2001
- 11 Lindsey S, Raghavendra C S. PEGASIS: Power efficient gathering in sensor information systems [C]. In: Proc. IEEE Aerospace Conference, 2002
- 12 Wooldridge M. 多 Agent 系统引论 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003